

討18 二層クラッド厚鋼板の圧延後の矯正技術

工博

 川崎製鉄㈱鉄鋼研究所
千葉製鉄所

 ○山下道雄, 吉田 博, 阿部英夫
高島典生, 渡辺秀規, 長嶺恒夫

1. 緒 言

二層クラッド厚鋼板は熱間圧延後の冷却時に二層の金属の熱膨張係数差によって、熱膨張係数の大きな金属側を内側にした大きな幅方向の反りを発生する。この反りは鋼板のハンドリングを困難にするだけでなく、冷間矯正の能率を著しく低下させる。この問題を解決するために、著者らはホットレベラーにて矯正中に熱膨張係数の大きな金属側を強制水冷する方法（以下、片面冷却矯正法）を開発した¹⁾。

本報では、温度・反り解析による片面冷却矯正法の矯正効果の検討結果、および、本方法の実機への適用結果について以下に報告する。

2. 片面冷却矯正法の考え方

重ね合せた二層の金属の温度と熱収縮ひずみの関係を模式的に Fig.1 に示す。温度 T_0 で平坦であった二層クラッド厚鋼板を室温まで冷却すると、二金属の間にひずみ差 $\Delta \epsilon$ を生じ熱膨張係数の大きなステンレス鋼を内側にした反りが発生する。室温までのひずみ量を二金属で同じにするためには、図中に示すように熱膨張係数の大きなステンレス鋼を式(1)に示す温度 ΔT だけ冷却した状態を作り出せばよい。

$$\Delta T = (a_{ss} - a_{ms}) / a_{ss} \cdot T_0 \quad (1)$$

a_{ss} , a_{ms} ; ステンレスおよび軟鋼の熱膨張係数

この状態で二層クラッド厚鋼板を平坦にできれば室温時の反り発生を抑制することができる。この原理を利用した片面冷却矯正法を二層クラッド厚鋼板に適用した場合の反りの変化を模式的に Fig. 2 に示す。圧延後の二層クラッド厚鋼板をステンレス鋼側から水冷して反りを発生させる。この反りをホットレベラーにて矯正し、二金属間に温度差をつけたまま平坦にする。矯正後にはステンレス鋼が復熱によって伸び逆反りが発生するが、温度が下がるにつれて逆反りは小さくなり室温で平坦な状態にすることが可能である。

3. 片面冷却矯正時の温度・反り解析

3.1 解析方法の概要

解析に用いた仮定を以下に示す。

- (1) 長手及び幅方向には熱伝導がない。すなわち、板厚方向にのみの一次元熱伝導解析を行なう。
- (2) 反りおよび応力は、塑性ひずみ考慮せず弾性状態として計算する。
- (3) 長手方向には反り発生せず、板の自重も無視する。
- (4) レベラーは完全な矯正能力を有しており、レベラー出側直前の最も温度差のついた状態で板を平坦にできると考える。

上記の仮定において、片面冷却時の板厚方向温度分布を差分法（Crank-Nicolson法）で計算するとともに、矯正後の反り変化挙動を熱ひずみより算出した。要素は二金属各々30分割し、時間は各要素の温度変化が10℃以内となるように分割した。分割された各要素の物性値（比重、比熱、熱伝導率）は温度の関数²⁾として与えた。

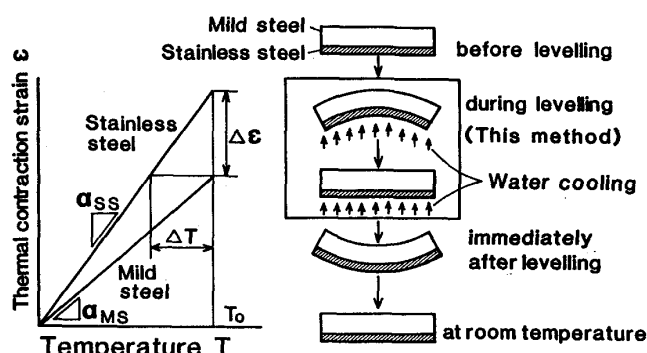


Fig.1
Schematic diagram
of relation between
temperature and thermal
contraction strain

Fig.2
Schematic diagram
of change in camber
of clad steel plate

3.2 計算結果

解析に用いた計算基準条件を Table. 1 に、この条件をもとに試算した場合の表裏面温度と反り量の経時変化を Fig. 3 に示す。なお、反り量の符号はステンレス鋼を内側にした反りを正方向とした。ステンレス鋼側を水冷すると表裏面の温度差は 5 秒後には 95℃ に達するが、水冷を停止すると復熱が急激に生じ 10 秒後には 3℃ にまで減少する。一方、反りは復熱の変化に比例して急激に生じ反り量は -230 mm にも達するが、常温時には +130 mm の反りが残る。なお、矯正後の反り量が片面冷却矯正法の矯正能力を示し、常温時と矯正後の反り量の差が材料の二層間の熱収縮量差による材料起因の反り発生量を示している。

矯正後および常温時の反り量とクラッド比との関係を Fig. 4 に示す。クラッド比が増加しても、本方法の矯正能力に変化がないため矯正後の反り量は変わらないが、材料起因の反り発生量が増えるため常温時の反り量は増加する。板厚については薄いほど本方法の矯正能力も材料起因の反り発生量も増加する。一方、常温時の反り量は本方法の矯正能力と材料起因反り発生量の大小で変化し、クラッド比が 13% をこえて材料起因の反り発生量の方が大きくなると板厚が薄いほど大きくなる。

矯正後および常温時の反り量と矯正開始温度との関係を Fig. 5 に示す。矯正開始温度を上げると、本方法の矯正能力も材料起因の反り発生量も増加する。一方、常温時の反り量はこの計算条件では材料起因の反り発生量が本方法の矯正能力に比べ大きいいため、温度が高いほど大きくなる。

矯正後および常温時の反り量と水冷時の熱伝達係数との関係を Fig. 6 に示す。水冷時の熱伝達係数を増加

Table.1 Standard condition for calculating camber

Based material	Mild steel	
Clad material	18-8 stainless steel	
Thickness	h	10,(30)mm
Width	W	3000 mm
Clad ratio	C.R.	30 %
Levelling temperature	T ₀	600 °C
Heat transfer coefficient	H.T.C.	1000 kcal/m ² ·h·°C
Cooling time	C.T.	5 sec

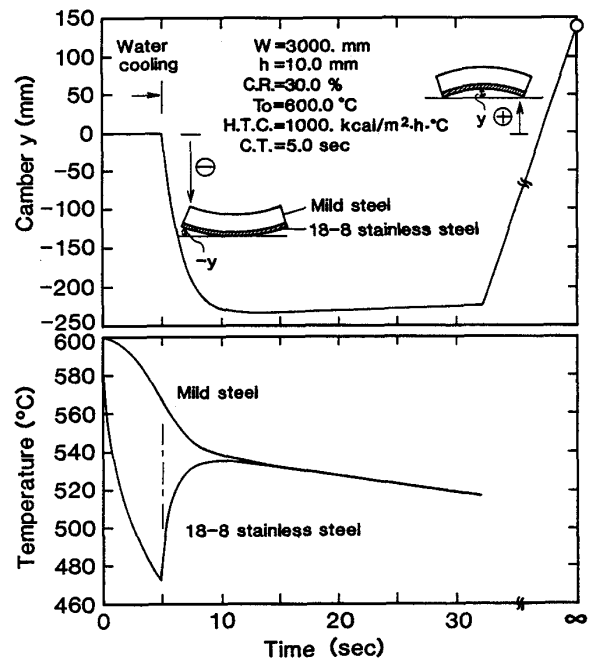


Fig.3 Changes in camber and surface temperature

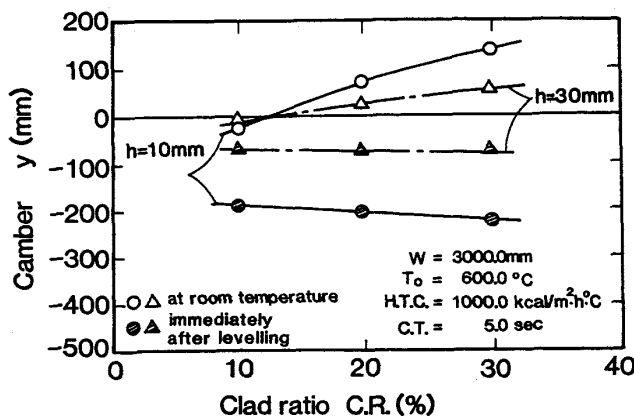


Fig.4 Relation between clad ratio and camber

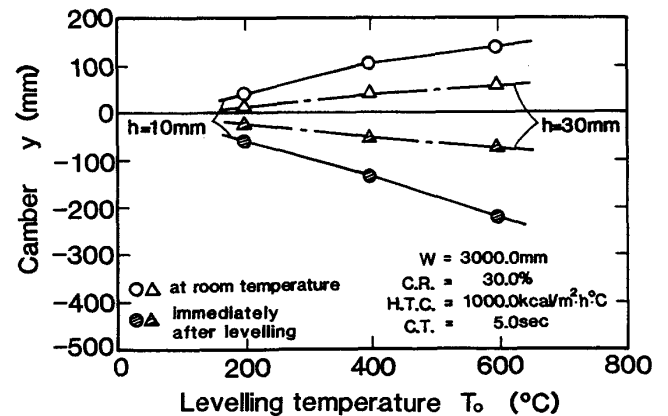


Fig.5 Relation between levelling temperature and camber

させると、本方法の矯正能力が増えるのに対し材料起因の反り発生量には変化がないため、常温時の反り量は減少していく。

矯正後及び常温時の反り量と水冷時間との関係を Fig. 7 に示す。板厚が 10 mm の場合には、水冷時間を増加させると本方法の矯正能力も材料起因の反り発生量も若干減少するがその効果が同程度であるため、常温時の反り量には変化がない。一方、板厚が 30 mm の場合には水冷時間を増加させると本方法の矯正能力が増えるのに対し材料起因の反り発生量には変化がないため、常温時の反り量は減少する。これは板厚 10 mm の場合には水冷時間 5 秒の条件で表裏面の温度差がほぼ最大にまで達しているのに対して、板厚 30 mm の場合には表裏面の温度差が最大値に達するまでに時間を要するため、水冷時間を増加するほど矯正中の表裏面の温度差が拡大したためである。

4. 片面冷却矯正法の実機への適用

4.1 設備の概要

片面冷却矯正法を実施した設備の概要を Fig. 8 に示す。設備は 2Hi レベラーの下面に水冷用のヘッダーを配置したものである。5 本のヘッダーからは総量で $210\text{m}^3/\text{hr}$ の水を一定流量で放水し、板幅方向両端部のノズルは板幅に合わせて止水できる。また、通板速度に合わせて順次ヘッダーに通水、止水することにより、軟鋼表面への水乗りを防止している。

4.2 実機実験結果

圧延後の反りを本設備の前に設置しているホットレベラーでまず平坦に矯正し、その後、本設備を 1 パス通過させて実験を行なった。また、反り量の測定は採寸場で矯正後の値をコールドレベラー入側で常温時の値を実測した。

矯正後および常温時の反り量と矯正開始温度との関係を Fig. 9 に示す。矯正開始温度は $450\sim 500^\circ\text{C}$ が最適で

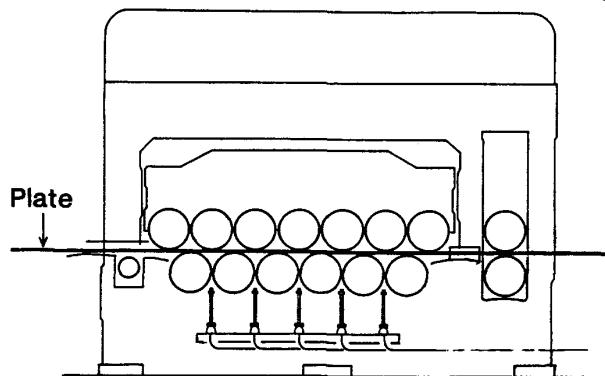


Fig. 8 Outline of levelling equipment

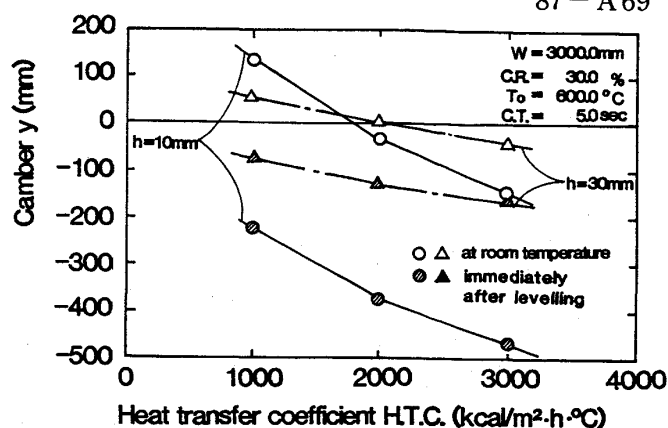


Fig. 6 Relation between heat transfer coefficient and camber

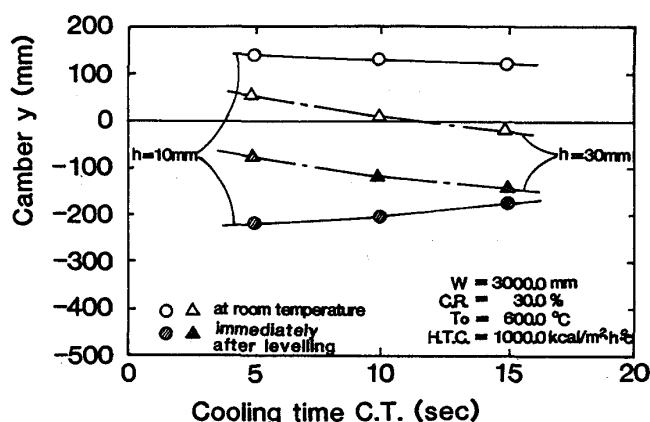


Fig. 7 Relation between cooling time and camber

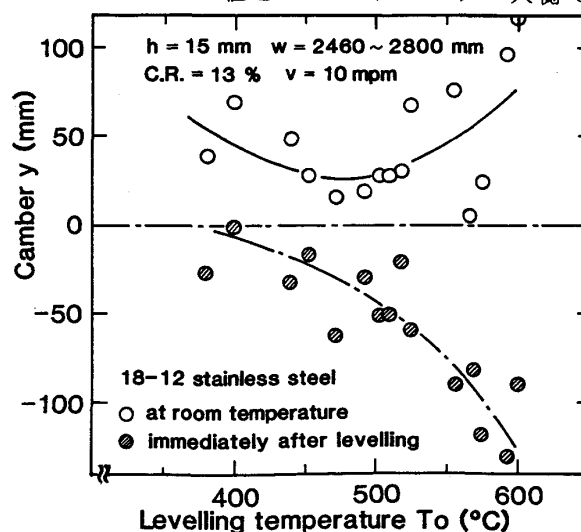


Fig. 9 Relation between levelling temperature and camber

常温時の反り量が最小になっている。450℃以下で反り量が増加しているのは、材料の変形抵抗の増加で2Hiレベラーでは完全には平坦にできなかったためと考えられる。

矯正後および常温時の反り量と板厚およびクラッド比の関係をFig. 11に示す。本実験材では板厚とクラッド比とは相関があり、板厚が薄いほどクラッド比が高くなっている。板厚が薄くなると、常温時の反り量が急激に増加するが、これは単にクラッド比が増加したためだけではなく、板厚が薄くなると2Hiレベラーでは完全には平坦にできなかったためと考えられる。

5. 計算結果と実機実験結果との対応

Table 2. に示す実機条件について、レベラー出側での板温を実測に一致するように熱伝達係数を決めて計算を行ない、実験結果と比較した。常温時の反り量の予測精度をFig. 12に示す。計算値に比べ実績値の方が55mmほど大きい、そのバラツキは平均値に対して約±50mmになっている。板厚が薄いほど計算値と実績値の差が大きくなることから、この誤差は解析モデルでレベラーの平坦への矯正能力について過大評価していることに起因している。

6. 結 言

圧延後に生じるクラッド厚鋼板の反りに対して、片面冷却矯正法を開発し、実機設備化に成功した。本設備に対しては、さらに水冷能力の増加、水量調整機能の追加、コンピュータ制御を実施できる設備への改造を行ない、クラッド厚鋼板の反りの防止に多大の貢献をしている。

参考文献

- (1) 特公昭 61-005808
- (2) B.I.S.R.A.: Physical Constant of Some Commercial Steel at Elevated Temperature, (1953), [Butterworths Scientific Publications]

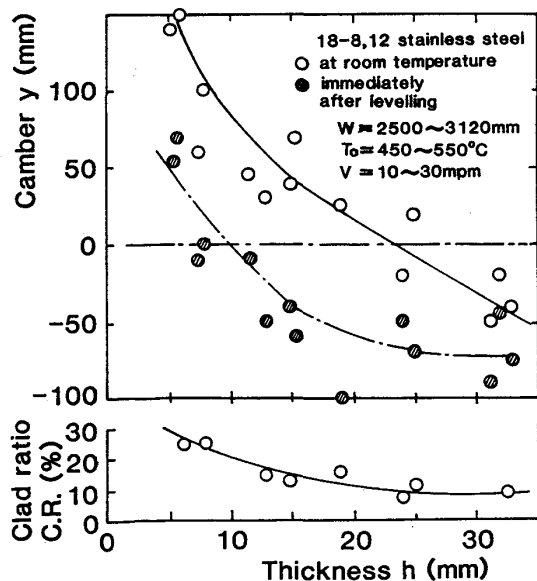


Fig.11 Relation of thickness with clad ratio and camber

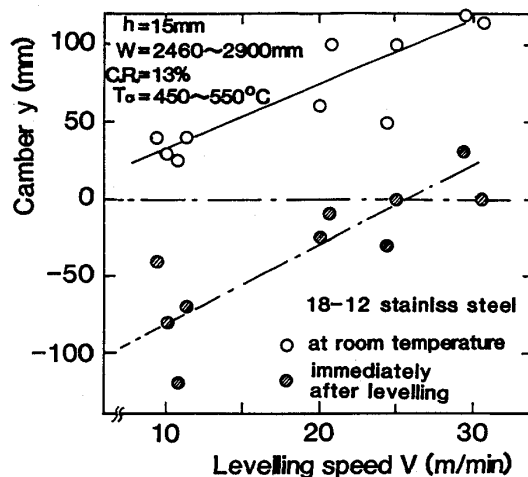


Fig.10 Relation between levelling speed and camber

Table.2 Experimental condition for studying accuracy of calculated camber

Thickness	h	6~33	mm
Width	W	1810~4010	mm
Clad ratio	C.R.	9~27	%
Levelling temperature	T ₀	380~650	°C
Cooling time	C.T.	7~13.4	sec

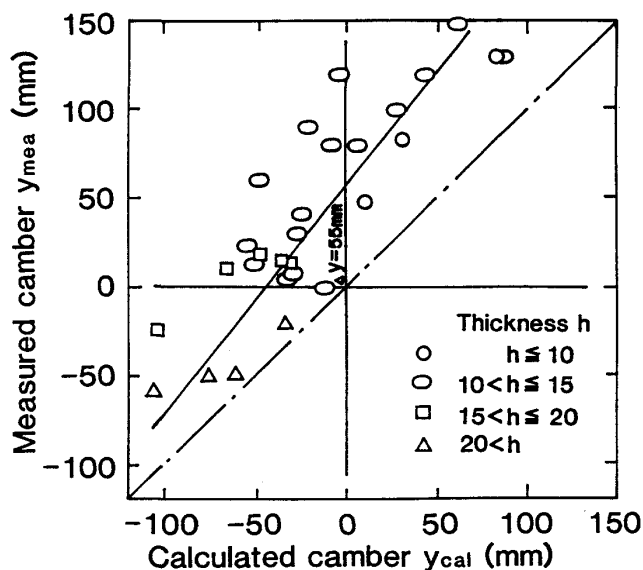


Fig.12 Comparison between calculated and measured cambers